

Propuesta de distribución aérea de vacunas COVID-19 en México para estados con alta tasa de incremento de casos

Miguel Ángel Walle-Vázquez^{1,2}, Santiago Omar Caballero Morales¹, Erick Leobardo Álvarez-Aros¹, Daniel Alejandro González-Bandala³

¹ Universidad Popular Autónoma del Estado de Puebla A.C
México

² Universidad Autónoma de Tamaulipas,
Facultad de Ingeniería y Ciencias,
México

³ Universidad Autónoma de Tamaulipas,
Facultad de Comercio y Administración Victoria,
México

miguelangel.walle@upaep.edu.mx, {santiagomar.caballero,
erickleobardo.alvarez}@upaep.mx, danielgoba84@gmail.com

Resumen. En el año 2020 inició una etapa de medidas gubernamentales para controlar la diseminación del COVID-19 en México. Esto con el objetivo de evitar el colapso de hospitales y demás servicios de atención médica, al mismo tiempo que mantener las actividades económicas en los diferentes sectores. Un avance importante al final de 2020 fue la creación de vacunas para este virus, lo que inició la etapa crítica de distribución de estas a todos los países y regiones del mundo. En los primeros meses de 2021 se inició la aplicación y distribución en la zona central de México. Sin embargo, esta distribución está sujeta a la recepción en un solo punto del país, el cual es el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. Con el objetivo de aumentar la distribución de estas vacunas, se propone un esquema de entrega aérea en los estados con mayor tasa de crecimiento de casos por contagio. Esto para controlar aquellas regiones que potencialmente contribuyen con la mayor diseminación del virus, y para agilizar la entrega de vacunas a estados aledaños. Los resultados obtenidos, basados en un modelo logístico de ubicación y cobertura, dan soporte a la recomendación de hacer envíos principales a 6 estados para una cobertura eficiente del territorio nacional.

Palabras clave: COVID-19, distribución de vacunas, logística, ubicación y asignación de instalaciones.

Proposal for the Air Distribution of COVID-19 Vaccines in Mexico for States with a High Rate of Increase in Cases

Abstract. In 2020, a stage of government measures began to control the spread of COVID-19 in Mexico. This with the aim of avoiding the collapse of hospitals

and other health care services, while maintaining economic activities in the different sectors. An important advance at the end of 2020 was the creation of vaccines for this virus, which began the critical stage of their distribution to all countries and regions of the world. In the first months of 2021, the application and distribution began in the central area of Mexico. However, this distribution is subject to reception at a single point in the country, which is the Mexico City International Airport. In order to increase the distribution of these vaccines, an air delivery scheme is proposed in the states with the highest growth rate of cases due to contagion. This is to control those regions that potentially contribute to the greatest spread of the virus, and to expedite the delivery of vaccines to neighboring states. The results obtained, based on a logistics model of location and coverage, support the recommendation of making main shipments to 6 states for efficient coverage of the national territory.

Keywords: COVID-19, vaccine distribution, logistics, location and allocation of facilities.

1. Introducción

En diciembre de 2019 diversos casos de neumonía de etiología desconocida comenzaron a presentarse en Wuhan, la capital de la provincia de Hubei en China. El 7 de enero de 2020, el Centro de Prevención y Control de Enfermedades de China identificó esta afectación como síndrome respiratorio severo agudo por coronavirus 2 (SARS-CoV-2). Los casos en China fueron solo el comienzo de una pandemia mundial que la Organización Mundial de la Salud (OMS) nombró como Coronavirus 2019 (COVID-19) [1]. Pandemia que ha puesto a prueba los servicios de salud pública en el mundo y hace imprescindible que los países cuenten con sistemas de salud fuertes, con infraestructura y recursos necesarios para enfrentarla [2].

Para el 11 de marzo de 2020, la Organización Mundial de la Salud (OMS) declaró la pandemia de COVID-19, la primera no debida a influenza [3]. Desde su aparición, los gobiernos han estado interesados en encontrar la forma de mitigar la enfermedad por COVID-19, dado que, cuando una pandemia de esta magnitud ocurre, los servicios de salud se saturan, incrementando así la tasa de mortalidad [4]. Por su parte en México, el Consejo de Salubridad General, órgano que tiene el carácter de autoridad sanitaria del país, reconoce oficialmente el 23 de marzo de 2020, la epidemia de enfermedad por COVID-19 en México, como una enfermedad grave de atención prioritaria [5].

En julio de 2020, se reportó en más de 200 países, arriba de 10 millones de casos, solo la mitad era de la región de las Américas. En ese entonces, se esperaban contar con las vacunas necesarias para controlar la pandemia, y disminuir su impacto en la salud, la economía y la sociedad [3].

Sin embargo, debido a la alta tasa de contagio del COVID-19, la ausencia de tratamientos efectivos para reducir su tasa de mortalidad, y la dificultad para producir una vacuna efectiva y segura en el corto plazo representó un reto sin precedentes para todos los países. Aunque a finales del 2020 se tuvieron las primeras vacunas en fase III cuya efectividad se estimó arriba del 90%, el reto se presentó en la logística necesaria para su producción y distribución en gran escala para todos los países y sectores sociales prioritarios [3]. Los responsables de la salud pública en los diferentes países tienen el reto de atender planes de vacunación de dimensiones jamás conocidas; Se desarrollaron

las vacunas en tiempo récord, es tarea de ellos organizar la logística de vacunación también en tiempo ciertamente rápido [6].

Las vacunas contra el COVID-19 que se tienen registradas con estatus regulatorio en México son ocho, sin embargo, solo cinco han sido autorizadas hasta el 9 de febrero de 2021 para su aplicación y son: BNT162b2 de Pfizer, Inc. y BioNTech; AZD1222 de AstraZeneca y la Universidad de Oxford; Sputnik V del Instituto Gamaleya; Ad5-nCoV de CanSino Biologics Inc y CoronaVac de Sinovac Research and Development Co [7]. Finalmente, la pandemia de COVID-19 no solo ha exhibido la problemática en los sistemas de salud mundiales, sino a los retos que enfrentan países y farmacéuticas como la logística en el traslado de las dosis.

El presente estudio pretende controlar aquellas regiones que potencialmente contribuyen con la mayor diseminación del virus y agilizar la entrega de vacunas a estados aledaños. Por lo tanto, el principal objetivo de este trabajo es presentar una propuesta para la distribución de estas vacunas, mediante una descentralización del punto de llegada de estas a otros puntos en México para posteriormente hacer una entrega a zonas cercanas.

Esta propuesta considera que, aunado al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, se identifiquen otros aeropuertos internacionales en México con características similares para la recepción de lotes de vacunas del exterior. Con esto se pretende hacer una entrega inmediata dentro de los estados donde se encuentran estos aeropuertos, y una entrega más ágil a los aeropuertos nacionales en los estados cercanos.

Con el objetivo de favorecer el control de la epidemia en México, se consideran como candidatos los aeropuertos internacionales en los estados en donde haya más números de contagios. En este documento se utilizó el modelo logístico de la p-Mediana para hacer la asignación más apropiada entre aeropuertos principales (candidatos) y los demás estados (vecinos). Considerando $i = 1, \dots, I$ posibles centros de distribución, instalaciones o plantas (en este caso, los aeropuertos internacionales principales en México a donde llegará la vacuna desde el exterior), y $j = 1, \dots, J$ destinos o clientes (en este caso, los aeropuertos nacionales a donde llegarán las vacunas desde los aeropuertos internacionales principales en México) [8].

El presente documento se estructura de la siguiente manera: En la sección 2 se describen los trabajos relacionados. En la sección 3 se presenta el resultado del análisis de datos. En la sección 4 se describe el modelo logístico de ubicación y asignación utilizado. En la sección 5 los resultados obtenidos. En la sección 6 las conclusiones y trabajos futuros y finaliza con el listado de referencias.

2. Trabajos relacionados

El tener cadenas de suministro eficientes ha sido vital para la correcta operación de los sectores productivos y de servicios en el Mundo. En la presencia de desastres naturales, esto también ha influido en la entrega oportuna de ayuda para la población en zonas afectadas.

La distribución de medicamentos a través de la cadena de suministro siempre será un proceso complicado. Las cadenas de suministro farmacéuticas y médicas han fallado durante la pandemia de COVID-19 a raíz de la implementación de cadenas de suministro globales ajustadas; por lo menos el 94% de las empresas de Fortune 1000

(las 1000 empresas estadounidenses más grandes clasificadas por su ingreso, de acuerdo con lo compilado por la revista de negocios estadounidense Fortune) han informado interrupciones en la cadena de suministro como resultado de la pandemia de COVID-19 [9].

Por lo tanto, bajo la situación actual, la adaptación y la planeación de las cadenas de suministro son necesarias para reducir el impacto económico y social de las restricciones causadas por las medidas de distanciamiento social establecidas alrededor del Mundo para reducir los contagios por COVID-19 [10].

En el caso particular del sector público en México, la distribución de la vacuna se realiza a través de las diferentes dependencias e instituciones del gobierno federal. En este contexto, se identifican como prioritarias las siguientes operaciones: planificación, adquisición, distribución, prescripción y dispensación. En cualquiera de estas etapas pueden existir fallas que puedan comprometer la operación eficiente de la cadena de suministro y, por consiguiente, la disponibilidad de medicamentos y vacunas para los diferentes sectores poblacionales.

En cuanto a la distribución de medicamentos, la cual se gestiona después de su adquisición, los esquemas más utilizados han sido la subcontratación y la distribución directa. La integración eficiente de estos agentes es importante para agilizar su operación bajo el presente escenario de emergencia sanitaria [9,10].

En la actualidad, la demanda global de escala sin precedentes de la vacuna COVID-19, imposible de satisfacer debido a la falta de preparación de los sistemas de producción y distribución. Disponibilidad que está limitada por factores externos a México. La Secretaría de Salud a través del Grupo Técnico Asesor de Vacunación Covid-19 (GTAVCovid-19) desarrolló recomendaciones sobre la estrategia de vacunación, tomando en cuenta la mejor evidencia disponible.

Consideró tomar en cuenta la distribución geográfica de la mortalidad; en la implementación de la campaña, se puede aprovechar la infraestructura del país, aumentando así el beneficio mediante la velocidad de cobertura y tener mayor efecto sobre la reducción de la mortalidad [13].

En México, el gobierno federal, a través de la Secretaría de Salud reportó al 17 de febrero de 2021, 2 millones 13 mil 563 casos confirmados con 177 mil 61 muertes por COVID-19 [14]. Con estos datos, para la primera etapa de vacunación se eligieron a la Ciudad de México y el Estado de Coahuila dado que se encuentran en el centro-norte de la República Mexicana y son los lugares en donde comenzó el fenómeno de rebrote de contagios.

En esta fase también se incluyeron a Querétaro, Nuevo León y el Estado de México. En cuanto a la llegada de las vacunas a México desde el exterior, fue hasta el 12 de enero de 2021 que se recibieron las primeras 546 mil 975 dosis, y se inició su aplicación en la Ciudad de México, Coahuila, Estado de México, Querétaro y Nuevo León [15].

El 20 de enero de 2021, en conferencia de prensa el secretario de la Defensa Nacional del Gobierno de México explicó que, a diferencia al plan anterior de distribución de vacunas, en esta ocasión se redujo el tiempo de entrega de las vacunas en las rutas del norte del país. La Defensa Nacional puso a disposición del Operativo Correcaminos 32 aeronaves; además, la Secretaría de Marina, un avión y dos helicópteros, y la Guardia Nacional, tres helicópteros [16]. Por lo anterior, se propone aumentar la distribución de las vacunas, a través de un esquema de entrega aérea en los estados con mayor tasa de crecimiento de casos por contagio. Con el fin de controlar aquellas regiones que

Tabla 1. Análisis de Pendientes de Crecimiento de Casos por Entidad Federativa en México.

Entidad Federativa (Estado)	Cuatrimestre 2020			Pendiente entre Cuatrimestres			Pendiente Total
	1Q	2Q	3Q	m ₁₂	m ₂₃	m ₁₃	m _{total}
DISTRITO FEDERAL	0.10%	1.11%	2.70%	0.010	0.016	0.013	0.039
BAJA CALIFORNIA SUR	0.04%	0.94%	1.28%	0.009	0.003	0.006	0.019
QUERETARO	0.01%	0.29%	1.17%	0.003	0.009	0.006	0.017
DURANGO	0.00%	0.36%	1.02%	0.004	0.007	0.005	0.015
NUEVO LEON	0.01%	0.54%	0.96%	0.005	0.004	0.005	0.014
ZACATECAS	0.01%	0.32%	0.95%	0.003	0.006	0.005	0.014
COAHUILA	0.01%	0.69%	0.89%	0.007	0.002	0.004	0.013
GUANAJUATO	0.01%	0.54%	0.83%	0.005	0.003	0.004	0.012
SONORA	0.01%	1.01%	0.80%	0.010	-0.002	0.004	0.012
AGUASCALIENTES	0.02%	0.39%	0.80%	0.004	0.004	0.004	0.012
SAN LUIS POTOSI	0.01%	0.68%	0.77%	0.007	0.001	0.004	0.011
CHIHUAHUA	0.02%	0.26%	0.73%	0.002	0.005	0.004	0.011
TABASCO	0.05%	1.08%	0.62%	0.010	-0.005	0.003	0.009
COLIMA	0.00%	0.50%	0.52%	0.005	0.000	0.003	0.008
YUCATAN	0.03%	0.66%	0.51%	0.006	-0.001	0.002	0.007
HIDALGO	0.01%	0.34%	0.46%	0.003	0.001	0.002	0.007
BAJA CALIFORNIA	0.06%	0.43%	0.50%	0.004	0.001	0.002	0.007
TAMAULIPAS	0.02%	0.69%	0.43%	0.007	-0.003	0.002	0.006
MEXICO	0.03%	0.40%	0.44%	0.004	0.000	0.002	0.006
JALISCO	0.01%	0.25%	0.38%	0.002	0.001	0.002	0.006
MICHOACAN	0.01%	0.33%	0.37%	0.003	0.000	0.002	0.005
OAXACA	0.00%	0.36%	0.35%	0.004	0.000	0.002	0.005
TLAXCALA	0.02%	0.48%	0.35%	0.005	-0.001	0.002	0.005
PUEBLA	0.01%	0.42%	0.31%	0.004	-0.001	0.001	0.004
GUERRERO	0.01%	0.41%	0.31%	0.004	-0.001	0.001	0.004
SINALOA	0.04%	0.51%	0.31%	0.005	-0.002	0.001	0.004
QUINTANA ROO	0.06%	0.57%	0.31%	0.005	-0.003	0.001	0.004
MORELOS	0.03%	0.24%	0.26%	0.002	0.000	0.001	0.003
NAYARIT	0.01%	0.39%	0.22%	0.004	-0.002	0.001	0.003
VERACRUZ	0.01%	0.34%	0.17%	0.003	-0.002	0.001	0.002
CAMPECHE	0.01%	0.57%	0.15%	0.006	-0.004	0.001	0.002
CHIAPAS	0.00%	0.12%	0.03%	0.001	-0.001	0.000	0.000

potencialmente contribuyen con la mayor diseminación del virus, y agilizar la entrega de vacunas a los estados cercanos.

3. Análisis de datos

A partir de los datos proporcionados por el gobierno federal [17], se procedió a obtener el porcentaje de contagios para cada estado en los tres cuatrimestres del año 2020. Posteriormente, se estimó la tasa de crecimiento mediante el cálculo de la pendiente entre los tres cuatrimestres del año 2020. Finalmente, se obtuvo la pendiente total para determinar aquellos estados con las mayores tasas de crecimiento. Estos cálculos se presentan en la Tabla 1, destacando los primeros 12 estados con mayor tasa.

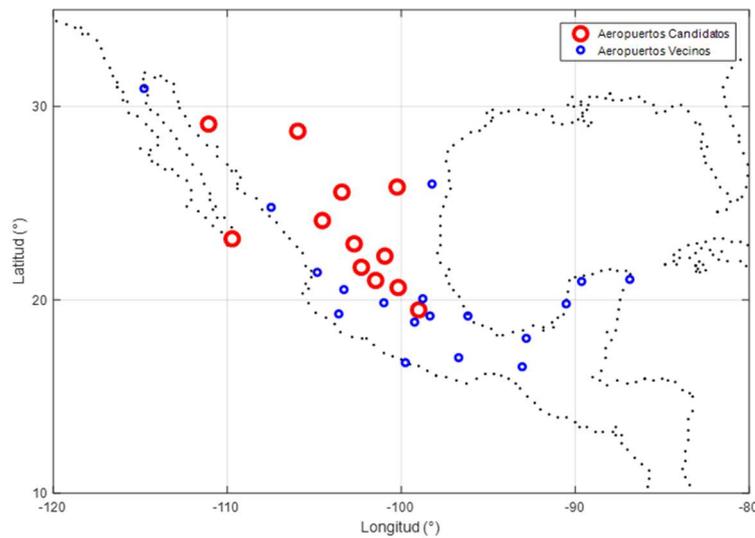


Fig. 1. Aeropuertos candidatos en estados con mayor tasa de crecimiento de casos COVID- 19.

Como se puede observar, la Ciudad de México es la entidad con mayor tasa de crecimiento de casos, en tanto, Chiapas es la entidad con la menor tasa. Aquí es importante señalar que una tasa alta no necesariamente se correlaciona con un número alto de personas contagiadas, sino con una alta velocidad de crecimiento de contagios, lo cual es importante para controlar la curva de contagio que representa a todas las personas que se enfermaron por COVID-19 (p.e., “aplanar la curva”) lo que significa que las medidas de contención y mitigación han logrado reducir la saturación de los servicios de salud y el número total de casos de contagio [18]. También una alta tasa de crecimiento está correlacionada con una alta diseminación del virus a regiones aledañas [7].

Para propósitos de hacer más sencilla la planeación, se escogen de manera preliminar los 12 estados con mayor tasa como candidatos para recibir de manera prioritaria los cargamentos de vacunas desde el exterior para los mismos estados y para sus estados vecinos. En la Figura 1 se muestran las ubicaciones de los aeropuertos principales de estos estados (candidatos), incluyendo aquellos en los estados cercanos (vecinos).

4. Modelo logístico de ubicación y asignación

Para hacer la asignación más apropiada entre aeropuertos principales (candidatos) y los demás estados (vecinos), se hizo uso del modelo logístico de la p-Mediana. Considerando $i = 1, \dots, I$ posibles centros de distribución, instalaciones o plantas (en este caso, los aeropuertos internacionales principales en México a donde llegará la vacuna desde el exterior), y $j = 1, \dots, J$ destinos o clientes (en este caso, los aeropuertos nacionales a donde llegarán las vacunas desde los aeropuertos internacionales

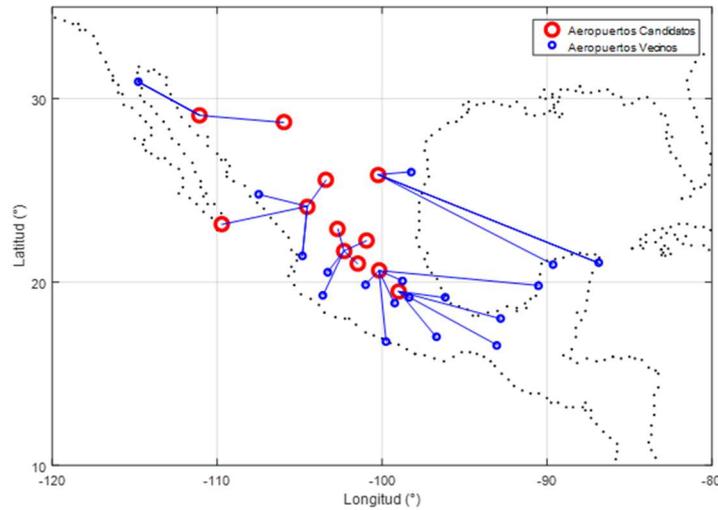


Fig. 2. Asignación de aeropuertos candidatos (internacionales) y vecinos (nacionales) en estados con mayor tasa de crecimiento de casos COVID-19.

principales en México), el modelo matemático de la p -mediana se define como [8, pp. 18–19]:

$$\text{Minimizar } \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} d_j c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

S.A.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = 1, \quad \forall j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_{i \in I} y_i = p, \quad (3)$$

$$x_{ij} - y_i \leq 0 \quad \forall i \in I; j \in J, \quad (4)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I, \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad \forall i \in I; j \in J. \quad (6)$$

En donde (1) representa la función objetivo la cual minimiza el costo o distancia total ponderada de la asignación de aeropuertos candidatos i a los aeropuertos de los estados j (en este caso, c_{ij} representa el costo o distancia entre cada origen i y destino j en particular, y d_j la demanda del destino o estado j); (2) representa la restricción de que toda la demanda en el destino j debe satisfacerse; (3) representa la restricción que establece que exactamente se seleccionen p instalaciones (o aeropuertos candidatos finales) para hacer la distribución a los destinos j ; (4) son restricciones que establecen que los destinos j solo se pueden asignar a instalaciones i que son abiertas, habilitadas o seleccionadas.

Finalmente, las restricciones (5) y (6) definen la naturaleza de las variables de decisión: x_{ij} es una variable binaria no-negativa, que es igual a “1” si se hace la

Tabla 2. Detalles de la asignación de aeropuertos candidatos (internacionales) y vecinos (nacionales) en estados con mayor tasa de crecimiento de casos COVID-19.

Entidad Federativa	(Estados) Vecinos																													
(Estados) Candidatos	DISTRITO FEDERAL	BAJA CALIFORNIA SUR	QUERETARO	DURANGO	NUEVO LEÓN	ZACATECAS	COAHUILA	GUANAJUATO	SONORA	AGUASCALIENTES	SAN LUIS POTOSÍ	CHIHUAHUA	TABASCO	COLIMA	YUCATAN	HIDALGO	BAJA CALIFORNIA	TAMAULIPAS	JALISCO	MICHOCAN	OAXACA	PUEBLA	GUERRERO	SINALOA	QUINTANA ROO	MORELOS	NAYARIT	VERACRUZ	CAMPECHE	CHIAPAS
DISTRITO FEDERAL	X												X							X	X							X		X
QUERETARO			X													X				X			X							X
DURANGO	X	X		X																				X			X			
NUEVO LEÓN					X										X		X								X					
SONORA									X		X						X													
AGUASCALIENTES						X	X	X	X	X	X		X						X											

asignación entre el origen i y el destino j , y es igual a “0” en caso contrario. Para este problema en particular, c_{ij} se define como la longitud de arco geográfico entre los aeropuertos candidatos y los aeropuertos vecinos de todos los estados de la República Mexicana.

Esta longitud de arco se usa frecuentemente para determinar la distancia aérea recorrida por aviones. Considerando las coordenadas geográficas de longitud (λ) y latitud (ϕ) entre dos ubicaciones (p.e., i y j) en la Tierra esférica, la longitud de arco terrestre entre ambos se puede estimar como [19, p. 81]:

$$c_{ij} = R \times \text{Arcos}(\sin f_i \sin f_j + \cos f_i \cos f_j \cos(l_i - l_j)), \tag{7}$$

en donde R es el radio de la Tierra y es igual a 6,371 km.

5. Resultados

Para propósitos de cálculo de c_{ij} y visualización de la solución fue utilizado el software GNU Octave 6.2.0 [20]. Para la resolución del problema de p-Mediana, fue utilizado el software de optimización Lingo 19.0 [21] considerando 6 aeropuertos principales a escoger de los 12 que fueron candidatos (véase Tabla 1). El resultado obtenido se presenta en la Figura 2.

La Tabla 2 presenta los detalles de la asignación mostrada en la Figura 2. Como se puede observar, aunado al Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (que coincide con el Estado de México y el Distrito Federal), se recomienda tener como aeropuertos de llegada de lotes de vacunas desde el exterior (Estados Unidos, China, Rusia, Inglaterra) a aquellos en los estados de Querétaro, Durango, Nuevo León, Sonora y Aguascalientes.

A partir de estos aeropuertos se puede hacer la entrega nacional a los demás estados de la República Mexicana. Por ejemplo, de Durango, se puede hacer de manera inmediata la entrega al mismo estado, y hacer el envío nacional a los aeropuertos de los estados de Baja California Sur, Coahuila, Sinaloa y Nayarit.

Nótese que para evitar la saturación de los 6 aeropuertos candidatos, a lo mucho, cinco estados vecinos son asignados a cada uno. Esta es la razón por la cual, algunos estados vecinos que pudieran estar más cerca de un aeropuerto candidato son asignados a otro aeropuerto, aunque esté un poco más alejado. Sin embargo, es importante recordar que la distancia está ponderada por el número de casos (véase Sección 4) por lo que un estado puede tener menor prioridad en la asignación si tiene pocos casos, aunque se encuentre más cerca.

6. Conclusiones y trabajo a futuro

Actualmente el aspecto de la entrega de vacunas a México y su posterior distribución en el territorio nacional son tareas de gran importancia para reactivar el sector económico y reducir la saturación del sector salud. En este trabajo se presenta una propuesta para agilizar la distribución mediante la llegada de vacunas del exterior a 6 aeropuertos internacionales en México a partir de los cuales se puede hacer la distribución a los demás estados. En particular, se hace énfasis en la recepción directa en los estados con mayor tasa de contagios.

La recepción y distribución a través de los aeropuertos internacionales y nacionales se propone para hacer más rápida y segura su llegada a los estados. Esta red aérea se puede conectar de manera eficiente con la logística de “última milla”, definida como el último segmento de un proceso de entrega, que a menudo se considera el aspecto más caro y menos eficiente de una cadena de suministro [22, p. 309] que, involucra a los demás agentes implicados en su distribución como son la Guardia Nacional y las autoridades estatales.

Como trabajo futuro dentro de la misma línea de investigación se debe considerar el poder incorporar el análisis de asignación de aeropuertos vecinos, basado en diversas variables vinculadas con la tasa de contagio estatal, que permitan delimitar los criterios esenciales de distribución de recursos y suministros.

Además de comparar los resultados del modelo propuesto con el plan de distribución de vacunas en México publicado por la Defensa Nacional. Asimismo, realizar un mapeo para establecer centros de distribución en zonas estratégicas para el control de la vacuna de COVID-19 y el resto de los medicamentos del sector salud.

Referencias

1. Acosta, L. D.: Response capacity to the COVID-19 pandemic in Latin America and the Caribbean. *Rev. Panam. Salud Publica/Pan Am. J. Public Heal.*, vol. 44, no. 1 (2020) doi: 10.26633/RPSP.2020.109
2. Grupo Técnico Asesor de Vacunación Covid: Priorización inicial y consecutiva para la vacunación contra SARS-CoV-2 en la población mexicana. Recomendaciones preliminares. *Salud Publica de Mexico*, vol. 63, no. 2, pp. 286–307 (2021)

3. Organización Pan Americana de la Salud: Orientaciones para la planificación de la introducción de la vacuna contra la COVID-19. (2020). Consultado: feb. 17, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://iris.paho.org/handle/10665.2/52533>
4. Ortiz-Hernández, L., Pérez-Sastré, M. A.: Social inequalities in the progression of COVID-19 in the Mexican population. *Rev. Panam. Salud Publica/Pan Am. J. Public Heal.*, vol. 44 (2020) doi: 10.26633/RPSP.2020.106
5. Gobierno de México: Acuerdo por el que el Consejo de Salubridad General reconoce la epidemia de enfermedad por el virus SARS-CoV2 (COVID-19) en México, como una enfermedad grave de atención prioritaria, así como se establecen las actividades de preparación y respuesta ante dicha pandemia. DOF (2020)
6. Saldaña-Sánchez, M., Menendez-Ramos, J. C.: Y a final de año llegó la esperanza. At the end of the year hope came, *Anales de la Real Academia Nacional de Farmacia*, vol. 86, pp. 225–230 (2020)
7. Gobierno de México: Vacunación COVID-19 –Coronavirus. Gobierno de México - Información Covid-19 México, 2021. <https://coronavirus.gob.mx/vacunacion-covid/> (2021)
8. Diaz-Ramirez, N.: Modelo de centros de gravedad y asignación por clusters para puntos de distribución de líquidos de consumo humano en Bogotá. Universidad Libre, Facultad De Ingeniería Industria (2019)
9. Golan, M. S., Jernegan, L. Linkov, H. I.: Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: Systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, vol. 40, no. 2. Springer, pp. 222–243 (2020) doi: 10.1007/s10669-020-09777-w
10. Queiroz, M. M., Ivanov, D., Dolgui, A., Fosso-Wamba, S.: Impacts of epidemic outbreaks on supply chains: Mapping a research agenda amid the COVID-19 pandemic through a structured literature review. *Annals of Operations Research* (2020) doi: 10.1007/s10479-020-03685-7
11. Lozano-Diez, J., Marmolejo-Saucedo, A. J. A., Rodriguez-Aguilar, R.: Designing a resilient supply chain: An approach to reduce drug shortages in epidemic outbreaks. vol. 6, no. 21 (2020) doi: 10.4108/eai.13-7-2018.164260
12. OMS, Panel de la OMS sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19)”, Cuadro de mando de la OMS sobre la enfermedad por coronavirus (COVID-19), (2021) <https://covid19.who.int/> (consultado feb. 18, 2021)
13. Barrientos-Gutiérrez, T., Alpuche-Aranda, C., Bautista-Arredondo, S.: Preguntas y respuestas sobre la estrategia de vacunación contra Covid-19 en México. *Salud Pública de México* (2021) https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?ID_ARTICULO=98735
14. GobMx, COVID-19 Tablero México - CONACYT - CentroGeo - GeoInt - DataLab. Gobierno de México -Información Covid-19 México <https://datos.covid-19.conacyt.mx/#DOView> (consultado feb. 18, 2021) (2021)
15. Gobierno de México: Política nacional rectora de vacunación contra el SARS-CoV-2 para la prevención de la COVID-19 en México (2021)
16. Gobierno de México: Control de la epidemia y adquisición de vacunas son prioridades para el gobierno federal, afirma presidente – Presidente de México. Presidencia de la Republica - Gobierno de México <https://presidente.gob.mx/control-de-la-epidemia-y-adquisicion-de-vacunas-son-prioridades-para-el-gobierno-federal-afirma-presidente/> (2021)
17. Martínez-Soria J. W., Vargas-Flores, A.: Covid-19: evolución y estimaciones de las curvas epidémicas. Consultado: mar. 23, 2021. [En línea]. Disponible en: [http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/4877/Reporte TE 78 Curvas epidemicas F.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://bibliodigitalibd.senado.gob.mx/bitstream/handle/123456789/4877/Reporte%20TE%2078%20Curvas%20epidemicas%20F.pdf?sequence=1&isAllowed=y) (2020)
18. Sánchez-Sierra, S. T., Caballero-Morales, S. O., Sánchez-Partida, D., Martínez-Flores, J. L.: Facility location model with inventory transportation and management costs. *Actalogistica.EU*, vol. 5, no. 3, pp. 79–86 (2018) doi: 10.22306/al.v5i3.98

19. Eaton, J. W.: GNU Octave is a high-level language, primarily intended for numerical computations. GNU Octave, <https://www.gnu.org/software/octave/about> (consultado mar. 15, 2021) (2021)
20. LINDO Systems Inc.: LINGO and optimization modeling <https://www.lindo.com/index.php/products/lingo-and-optimization-modeling> (consultado mar. 23, 2021) (2021)
21. Lim, S. F. J. W. T., Jin, X., Srari, J. S.: Consumer-driven e-commerce: A literature review, design framework, and research agenda on last-mile logistics models. *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management*, Emerald Group Publishing Ltd, vol. 48, no. 3, pp. 308–332 (2018) doi: 10.1108/IJPDLM-02-2017-0081